

文章编号:1002-8743(2006)S1-0027-04

## 水均衡法在水资源评价论证中的应用

吴浩东<sup>a</sup>, 胡建平<sup>b</sup>, 莫莉萍<sup>a</sup>

(1. 广西师范学院 a. 资源与环境科学学院; b. 管理科学学院, 广西 南宁 530001)

**摘 要:** 由于平原区特有的水文地质条件, 在平原区地下取水建设项目水资源论证中, 单纯以完整和独立的水文地质单元来确定论证范围, 多采用以行政区域为边界划定论证范围, 但在范围确定中盲目性、随意性较大, 论证范围过大, 增加论证工作量; 范围过小, 又不能满足要求。然而根据水量均衡原理, 以待定的水源地稳定水位降落漏斗面积为均衡区, 可构建水量均衡方程, 进而反求漏斗区的面积, 以此作为确定水资源论证范围的依据, 具有一定的实用性。

**关键词:** 水均衡法; 平原区; 地下水; 水资源论证

**中图分类号:** TV21 **文献标识码:** A

地下水资源是指有使用价值的, 本身又具有不断更新能力的各种地下水水量的总称, 它属于整个地球水资源的一部分, 主要特点有:

**可恢复性:** 当人工开采地下水时, 在多数情况下, 只要开采量不超过一定的限度, 虽然井附近的地下水位下降, 地下水的储存量暂时减少, 但只要停止开采, 水位又可逐渐恢复原位, 即地下水的储存量又得到补充。

**活动性及与周围环境的密切联系性:** 由于地下水与周围环境(气候、水文条件及地质条件等)有密切的关系, 所以大都具有流动性或活动性, 特别是与地表水联系得更加密切, 常常可以相互转化。这种联系反映在含水层的平面和剖面边界条件上, 包括地下水的补给和排泄条件。

**调节性(或储存量的可变性):** 地下水在含水层中, 始终处在不断地补给和消耗的新旧交替过程中。当补给丰富、大于消耗时, 含水层就把多余的水蓄集起来, 使地下水的储存量增加; 当补给较少或暂时停止时, 又可用储存的地下水维持消耗, 使储存量减少。储存量的这种可变性, 在地下水的补给、径流、排泄及开采过程中均起着调节作用。

在取水水源论证中, 首先要合理确定论证范围。地下取水水源论证中论证范围的确定, 一般应以满足区域水资源合理配置、用水户对水量的要求, 并便于查明水文地质条件为原则, 除包括项目建成区和规划区外, 应达到较为完整和独立的水文地质单元, 开采地区应把降落漏斗影响范围包括在内。然而在实践中, 特别是在平原区集中开采水源地取水水源论证中, 单纯以完整和独立的水文地质单元来确定论证范围往往不易做到。实际工作中, 多采用以行政区域为边界划定论证范围, 这在资料收集上也比较方便, 但在范围确定中盲目性、随意性较大, 且常出现划定的论证范围不尽包括水源地开采形成的降落漏斗影响范围的情况。针对这一问题, 在实践中利用水量均衡原理辅助确定平原区地下取水建设项目水资源论证范围, 即先假定水源地取水稳定后形成的地下水位降落漏斗影响范围  $F_{\text{漏斗}}$ , 通过水量均衡分析, 建立水均衡方程式, 进而求解  $F_{\text{漏斗}}$ 。综合考虑其他因素, 实际进行地下取水水源论证的论证范围应当是包含该影响范围  $F_{\text{漏斗}}$  的相对大的区域。

### 1 水均衡法基本原理

我国平原区地下水源地多以集中开采浅层水为主, 本文针对浅层水均衡开展研究。平原区集中开采水源地, 开采井布置相对集中, 水源地较其开采影响范围, 可以近似地将集中开采看作点开采, 此外由于

\* 收稿日期: 2006-03-21

作者简介: 吴浩东(1979-), 男, 江西人, 硕士, 环境工程专业, whdhjp@126.com.

平原区地形相对平缓,水源地开采后形成的地下水位降落漏斗可以近似为以水源地为中心的圆形范围。

### 1.1 水均衡方程的建立

一般情况下,考虑水源地开采情况下的潜水均衡方程的表达式为:

$$Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}} = \mu F \frac{H}{t},$$

$$Q_{\text{补}} = Q_1'' + Q_p + Q_f + E_c + Q_l,$$

$$Q_{\text{排}} = Q_2'' + E_u + Q_d + (1 - \beta) Q_l + Q_g + Q_r + Q_c,$$

式中:  $Q_1''$  地下水侧向流入量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_2''$  地下水侧向流出量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_p$  降雨入渗补给量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_f$  地表水入渗补给量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $E_c$  水汽凝结补给量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_l$  下伏承压含水层通过相对隔水层顶托补给量(为正值),或潜水通过相对隔水层向下伏承压含水层越流排泄量(为负值),  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $E_u$  潜水蒸发量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_d$  潜水以泉或泄流形式向地表排泄量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_l$  农业开采量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_g$  工业开采量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_r$  人畜生活用水开采量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_c$  水源地新增开采量,  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $\beta$  - 井灌回归系数;  $\mu$  - 含水层(组)给水度;  $F$  - 均衡区面积,  $\text{km}^2$ ;  $H$  - 均衡期潜水位变化值,  $\text{m}$ ;  $t$  - 均衡期,  $\text{a}$ 。

不同条件下,此方程式可以变化。一般情况下,水汽凝结补给潜水量很少,  $E_c$  故可忽略不计;当下伏承压含水层顶板隔水性能良好,且潜水与承压含水层水头差很小时,  $Q_l$  可以忽略;平原区地势平坦,计算区上下游水力坡度变化不大时,可认为  $Q_1''$ 、 $Q_2''$  趋近于相等;在无地下水向地表排泄时,  $Q_d$  可忽略不计。如此,潜水均衡方程式可简化为:

$$E_u + (1 - \beta) Q_l + Q_g + Q_r + Q_c = \mu F \frac{H}{t} + (Q_p + Q_f).$$

实际上,在形成稳定的地下水位降落漏斗过程中,由于地下水位埋深的加大,势必改变原来的地下水径流流向,在水源地周围形成指向中心的径向流,即形成水源地周边侧向径流补给。形成稳定的地下水位降落漏斗后,漏斗区面积  $F_{\text{漏}}$  和漏斗区地下水位在均衡期内将基本维持不变,即  $F$  趋于常数,  $H$

0. 地下水位稳定的降落漏斗形成后的潜水均衡方程式可以表达为:

$$E_u + (1 - \beta) Q_l + Q_g + Q_r + Q_c = Q_p + Q_f + Q_z, Q_z = 0.1 KHI_{\text{漏斗}} L_{\text{漏斗}} t,$$

式中:  $Q_z$  为水源地周边侧渗补给量;  $K$  为含水层平均渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ );  $H$  为含水层(组)厚度 ( $\text{m}$ );  $I_{\text{漏斗}}$  为漏斗区边缘地下水水力坡度;  $L_{\text{漏斗}}$  为漏斗区周边长度 ( $\text{km}$ ); 平原区地形平坦,漏斗区可近似为圆形,则  $L_{\text{漏斗}} = 2 \sqrt{F_{\text{漏斗}}}$ ,  $F_{\text{漏斗}}$  为地下水位降落漏斗稳定后的漏斗区面积;  $t = 365\text{d}$ 。

为了便于公式推导,这里引出潜水蒸发强度  $E(\text{cm}/\text{d})$ 、农业开采强度  $q_l [10^4 \text{ m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ 、工业开采强度  $q_g [10^4 \text{ m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ 、人畜生活用水开采强度  $q_r [10^4 \text{ m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ 、降水入渗补给系数及地表水入渗补给强度  $q_f [10^4 \text{ m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$  的概念,即:  $E_u = EF_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_l = q_l F_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_g = q_g F_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_r = q_r F_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_l = q_l F_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_p = 0.1 P F_{\text{漏斗}} t$ 、 $Q_f = q_f F_{\text{漏斗}} t$ 。  $P$  为年降水量 ( $\text{mm}$ )。则上式可进一步整理为:

$$0.2 KHI_{\text{漏斗}} t \sqrt{F_{\text{漏斗}}} + [0.1 P + q_f - Et - (1 - \beta) q_l - q_g - q_r] F_{\text{漏斗}} - Q_c = 0,$$

该方程式可以看作是以  $F_{\text{漏斗}}$  为未知数的一元二次方程,求解该方程式可求得地下水位漏斗稳定后的漏斗区面积。则井群开采的影响半径为:  $R = \sqrt{\frac{F_{\text{漏斗}}}{\pi}} (\text{km})$ 。

### 1.2 参数确定

#### (1) 降水入渗补给系数

影响降雨入渗补给系数的因素很多,主要有包气带岩性、地下水埋深、降雨量大小和强度、土壤前期含水量、微地形地貌、植被及地表建筑设施等。确定的方法主要有地下水水位动态资料计算法、地中渗透仪测定法和水均衡试验观测资料分析法等,其中地下水水位动态资料计算法是最基本、最常用的方法,年均降水入渗补给系数的计算公式如下:

$$\mu = \frac{\sum h_{\text{次}}}{P_{\text{年}}},$$

式中; $\mu$ 为给水度; $h_{\text{次}}$ 为年内各次降水引起的地下水水位升幅的总和,mm; $P_{\text{年}}$ 为年降水量,mm.在浅层地下水开采强度大、地下水埋藏较深且已形成地下水水位持续下降漏斗的平原区(又称超采区),可采用水量平衡法及多元回归分析法推求降水入渗补给系数值。

## (2) 灌溉入渗补给系数

灌溉入渗补给系数(包括渠灌田间入渗补给系数 $\mu_{\text{渠}}$ 和井灌回归补给系数 $\mu_{\text{井}}$ )是指田间灌溉入渗补给量 $h_r$ 与进入田间的灌水量 $h_{\text{灌}}$ (渠灌时, $h_{\text{渠}}$ 为进入斗渠的水量;井灌时, $h_{\text{渠}}$ 为实际开采量)的比值.影响值大小的因素主要是包气带岩性、地下水埋深、灌溉定额及耕地的平整程度.确定灌溉入渗补给系数值可以利用以下公式:

$$\mu = \frac{h_r}{h_{\text{灌}}},$$

式中; $h_r$ 可用灌水后地下水水位的平均升幅 $h$ 与变幅带给水度 $\mu$ 的乘积计算; $h_{\text{灌}}$ 可采用引灌水量(用深度表示)或根据次灌溉定额与年灌溉次数的乘积(用深度表示)计算.根据野外灌溉试验资料,确定不同土壤岩性、地下水埋深、次灌溉定额时的值.在缺乏地下水水位动态观测资料和有关试验资料的地区,可采用降水前土壤含水量较低、次降水量大致相当于次灌溉定额情况下的次降水入渗补给系数值近似地代表灌溉入渗补给系数值。

## (3) 渗透系数 $K$

影响渗透系数 $K$ 值大小的主要因素是岩性及其结构特征.确定渗透系数 $K$ 值有抽水试验、室内仪器(吉姆仪、变水头测定管)测定、野外同心环或试坑注水试验以及颗粒分析、孔隙度计算等方法.其中,采用稳定流或非稳定流抽水试验,并在抽水井旁设有水位观测孔,确定 $K$ 值的效果最好。

## (4) 潜水蒸发强度 $E$

一般情况下,潜水蒸发强度决定于气候条件、包气带岩性、地下水埋藏深度等因素.潜水蒸发强度计算多采用半理论半经验公式.一般采用修正后的阿维里杨诺夫公式:

$$E = k E_0 \left[ 1 - \frac{H}{H_{\text{max}}} \right]^n,$$

式中; $E$ 为潜水蒸发强度,cm/d; $E_0$ 为水面蒸发强度,cm/d; $H$ 为潜水埋深,m; $H_{\text{max}}$ 为地下水停止蒸发时的埋深(极限蒸发深度),m,粘土 $H_{\text{max}} = 5\text{m}$ ,亚粘土 $H_{\text{max}} = 4\text{m}$ ,亚砂土 $H_{\text{max}} = 3\text{m}$ ,粉细砂 $H_{\text{max}} = 2.5\text{m}$ ; $n$ 为经验指数,一般 $n \in [1, 3]$ ,应通过分析,合理选用. $k$ 为作物修正系数(无因次),无作物时 $k$ 取0.9~1.0,有作物时 $k$ 取1.0~1.3。

## (5) 开采强度 $q_l$ $q_g$ $q_r$

农业、工业和人畜用水开采强度可以通过调查分析确定,即在水源地可能的影响范围内选取有代表性的区域,通过调查均衡期内农业和工业开采量,进而确定开采强度 $q_l$   $q_g$   $q_r$ 。

## (6) 地表水入渗补给强度 $q_f$

地表水体入渗补给量包括河道渗漏补给量、库塘渗漏补给量、渠系渗漏补给量、渠灌田间入渗补给量及以地表水为回灌水源的人工回灌补给量之和.地表水入渗补给强度 $q_f$ 应是所有地表水入渗补给项各自入渗补给强度之和.地表水入渗补给强度的确定也可以采取典型调查的方法,即在水源地可能的影响范围内选取有代表性的区域,通过调查均衡期内地表水的引水量,其与入渗补给系数的乘积即为入渗补给强度。

## (7) 漏斗区边缘地下水水力坡度 $I_{\text{漏斗}}$

计算漏斗区周边侧渗补给项的漏斗区边缘地下水水力坡度 $I_{\text{漏斗}}$ 应采用稳定开采降落漏斗的水力坡度.然而在形成稳定的地下水位降落漏斗过程中,漏斗区地下水位也随之发生变化,由于地下水位稳定降落漏斗区的面积未知,漏斗中心水位亦不确定.实际计算中可以根据水源地开采前的地下水位水力坡度情况和水源地设计降深近似确定,一般以稍大于水源地开采前的地下水力坡度为宜。

## 2 实例应用

以华北某县城区供水工程集中开采水源地水资源论证为例. 该建设项目为日开采地下水 2 万  $\text{m}^3$ , 处于黄河冲积平原上部, 第四系沉积物覆盖全区, 地形较平坦, 地貌单一. 由于黄河多次改道变迁, 在区内沉寂了厚度较大、颗粒较粗的砂层, 第四系松散岩层厚度平均为 140m, 富水性好, 地下水位埋深较浅, 汛期可达 2~3m. 县域内仅南边的黄河可以作为边界条件处理, 其他方向均无明显的地下水水文地质边界, 如果以完整的水文地质单元作为论证范围势必加大工作量, 也不切实际. 如果论证范围过小, 又不能完全包含水源地开采稳定后的地下水位降落漏斗影响范围. 因此, 笔者运用水均衡原理对水源地开采形成的稳定地下水位降落漏斗面积进行了计算, 以此作为确定建设项目水资源论证范围的依据. 由于水源地位于两乡交界地带, 因此, 水均衡参数的确定重点以两乡的实际情况为依据. 以待定的稳定地下水位降落漏斗为均衡计算的均衡区, 确定该均衡计算的补给项为降水入渗补给量、引黄灌溉田间入渗与渠系渗漏量、漏斗周边侧向径流补给量, 消耗项为潜水蒸发量、沟渠排泄量、井灌开采量、人畜生活用水开采量、新增水源地开采量. 据此建立的地下水均衡方程经整理后如下式:

$$0.2 K H I_{\text{漏斗}} t \sqrt{F_{\text{漏斗}}} + [0.1 P + q_f - E t - (1 - \beta) q_l - q_g - q_r] F_{\text{漏斗}} - Q_c = 0,$$

上式中渗透系数  $K$ 、降水入渗补给系数  $\beta$ 、井灌回归系数  $\beta$ , 采用已有成果与野外试验相结合方法确定. 含水层组厚度  $H$  以区域平均含水层组厚度计; 降水量资料采用多年平均值; 潜水蒸发强度利用修正后的阿维里杨诺夫公式计算, 其中: 地表水入渗补给强度包括引黄灌溉田间入渗和沟渠渗漏两部分, 以典型调查的多年平均值计; 农业开采强度和人畜生活用水开采强度也均以典型调查的多年平均值计; 水源地周边现状水力坡度平均为 1/2 500~1/2 800, 因此漏斗区边缘地下水水力坡度应稍大于该值. 所有参数的取值情况见表 1.

表 1 水均衡参数取值表

参数	$K$	$H$	$I_{\text{漏斗}}$	$P$	$q_f$	$E$	井	$q_l$	$q_r$	$Q_c$
取值	8.3	140	1/2 500	0.25	548	14.2	0.014 8	0.1	10.27	0.64 730

将表 1 中的参数代入整理后的水均衡方程式, 求解可得  $F_{\text{漏斗}} = 31.2 \text{ km}^2$ . 则井群开采形成的稳定的地下水位降落漏斗影响半径为:

$$R = \sqrt{\frac{F_{\text{漏斗}}}{\pi}} = 3.15 \text{ km}.$$

因此, 该项目最终进行水资源论证的范围应该包含以水源地为中心, 方圆 3.15km 的区域, 综合考虑其他因素, 确定论证范围面积 98.96  $\text{km}^2$ , 实际证明, 最终确定的论证范围完全满足工作需要.

## 3 结 语

- (1) 建设项目水资源论证范围的合理确定, 对确保论证工作质量和确定论证工作范围至关重要.
- (2) 利用水均衡法确定水源地取水稳定后的地下水位降落漏斗影响范围, 概念明确.
- (3) 最终论证范围的确定应包含由此计算得出的水源地稳定降落漏斗区范围, 但由此计算得出的  $F_{\text{漏斗}}$  与  $R$  值是地下水位降落漏斗相对稳定后的多年平均值, 地下水位漏斗区的面积会相应有所扩大或缩小.
- (4) 水均衡法的原理明确, 计算公式简单, 其成果要求可粗可细, 所以适应性强, 在许多情况下都能运用. 在地下水的补给排泄条件简单、水均衡要素容易确定、开采后变化又不大的地区, 用此法评价地下水资源的效果较好. 它也常作为一种评价方法, 用于验证其他方法的计算结果, 论证取水度的保证度.

## 参考文献:

- [1] 朱学愚, 钱孝星, 刘新仁. 地下水资源评价[M]. 南京: 南京大学出版社, 1987.
- [2] 金光炎, 汪家权, 郑三元, 等. 地下水计算参数的测定与估计[J]. 水科学进展, 1997, (1).
- [3] 易云华. 某电厂水源地水资源评价[J]. 电力勘测, 2000, (2).
- [4] 李伯权. 地下水资源评价中有关概念的讨论[J]. 工程勘察, 2001, (3).
- [5] 房佩贤, 卫中鼎, 廖资生. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [6] 翁焕新. 城市水资源控制与管理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000.
- [7] 刘兆昌, 朱 钊. 供水水文地质学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.

[责任编辑: 班秀和]